

ОТЗЫВ

официального оппонента

**доктора физико-математических наук, профессора
Иванова Александра Павловича**

о диссертации Караваяева Юрия Леонидовича

**«Теоретические и экспериментальные исследования динамики и
управления некоторых систем с качением»,**

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 - «Теоретическая механика»

Диссертационная работа Караваяева Юрия Леонидовича посвящена изучению движения двух механических систем с качением: сферического робота с внутренней омниколесной платформой и однородного диска, катящегося по горизонтальной плоскости.

Актуальность темы исследования

Твердое тело, катящееся по горизонтальной опоре - одна из наиболее известных классических проблем механики, сочетающая простоту постановки с невозможностью общего и полного решения. Восходящая к Л. Эйлеру, эта проблема затем стала стимулом для развития аналитических, численных и экспериментальных методов. В ряде частных случаев удалось построить общий интеграл системы или получить качественные выводы об её динамике. Но для большого количества конструкций мобильных роботов, разрабатываемых в настоящее время, применение известных законов движения, подтвержденных экспериментально для систем простейшей конфигурации, является некорректным. Это подтверждают результаты экспериментальных исследований движения подобных систем, иногда сопровождающиеся возникновением парадоксальных ситуаций. Поэтому исследование более сложных систем с качением, в том числе и экспериментальное, включая анализ границ применимости известных моделей для описания их движения и управления, является актуальным.

Современный уровень развития электроники и вычислительной техники позволяет проводить экспериментальные исследования движения классических механических систем на новом уровне. Прежде всего, интерес представляют нестационарные режимы движения систем и моменты перехода из одного состояния в другое.

Содержание работы

Диссертация изложена на 106 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы (119 источников).

Во введении раскрыта актуальность диссертации, а также представлены цели работы. Первые три главы посвящены исследованиям сферического робота с внутренней омниколесной платформой, а четвертая - исследованиям качения однородного диска.

В первой главе проведен анализ конструкций сферических роботов. Дается описание конструкции сферического робота с внутренней омниколесной платформой, являющегося объектом исследования. Для разработанной

конструкции представлены кинематическая (квазистатическая) модель управления и результаты её исследования, а именно, анализ траектории движения сфероробота при постоянных управляющих воздействиях, влияние смещения центра масс подвижной платформы на траекторию движения. Представлена экспериментальная методика определения смещения центра масс подвижной платформы сферического робота по двум известным (измеренным) радиусам кривизны траекторий движения. Разработан алгоритм управления сферороботом на основе кинематической модели.

Во второй главе представлена динамическая модель движения сфероробота с внутренней омниколесной платформой в виде уравнений движения в квазискоростях с неопределенными множителями Лагранжа. Найдены интегралы движения и частные решения для приведенной системы. Проведено исследование устойчивости частного решения, соответствующего стационарному движению сфероробота по прямой. Разработан алгоритм управления сферороботом на основе динамической модели. Приведены примеры численного моделирования для управления сферороботом при качении по прямой из состояния покоя. Разработан алгоритм управления на основе базовых маневров (гейтов), приводящий систему в стационарное состояние. Представлены результаты численного моделирования управления сферороботом для движения по прямой из состояния покоя, и поворота при движении с постоянной скоростью.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям движения сфероробота с внутренней омниколесной платформой. Приводится описание экспериментальной установки для определения положения и ориентации сфероробота в процессе движения и методика обработки экспериментальных данных. Представлены результаты экспериментальной оценки разработанных алгоритмов управления.

Четвертая глава посвящена исследованиям качения однородного диска по горизонтальной плоскости. Представлен подробный анализ как теоретических, так и экспериментальных работ в данной области. Разработана методика, впервые позволившая экспериментально подтвердить наличие отрыва диска от поверхности перед его остановкой. Приведены результаты исследования финальной стадии качения диска, в особенности момента его остановки.

В заключении приведены результаты работы.

Достоверность и новизна полученных результатов

Достоверность всех полученных результатов определяется их экспериментальным подтверждением, а также публикацией в высокорейтинговых зарубежных журналах входящих в базу данных Web of Science, а также российских журналах, входящих в перечень ВАК.

Основные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы:

- Разработана новая конструкция сферического робота, отличающаяся от известных тем, что приводится в движение платформой с тремя омниколесами, расположенной внутри полой сферической оболочки.

- Для данной конструкции разработана кинематическая (квазистатическая) модель движения, на основе которой построен алгоритм управления сферороботом для движения по заданной траектории.

- Доказано, что траекторией движения сфероробота с внутренней омниколесной платформой при постоянных неравных угловых скоростях вращения омниколес является окружность.

- Впервые разработана методика определения положения центра масс внутренней омниколесной платформы сферического робота на основе экспериментальных данных и определено положение центра масс для натурального образца.

- Впервые получены уравнения динамики движения сферического робота с внутренней омниколесной платформой, на основе которых построен алгоритм управления сферороботом для движения по заданной траектории.

- Доказано, что отсутствует экспоненциальная неустойчивость при равномерном движении по прямой, при сохранении подвижной платформой горизонтального положения.

- Разработан алгоритм управления с помощью элементарных маневров (гейтов), позволяющих сферороботу при движении переходить с одного стационарного состояния в другое.

- Получено экспериментальное подтверждение разработанных теоретических моделей управления сферороботом с внутренней омниколесной платформой.

- Разработана новая методика определения наличия отрыва катящегося диска от поверхности перед его остановкой. Исследованы факторы, влияющие на время потери контакта диска с опорной плоскостью в момент его остановки.

Общая оценка диссертационной работы

Область исследования диссертационной работы Караваяева Юрия Леонидовича соответствует следующим направлениям паспорта научной специальности 01.02.01 – Теоретическая механика: 2. Теория устойчивости движения механических систем; 3. Управление движением механических систем, теория гироскопических и навигационных систем; 7. Механика робототехнических и мехатронных систем.

Диссертационная работа выполнена на актуальную тему. Материал диссертации изложен логично и аргументировано. Автореферат диссертационной работы и публикации автора полностью отражают содержание диссертации и соответствуют требованиям ВАК. Результаты работы с достаточной полнотой опубликованы.

Существенным преимуществом диссертационной работы является её прикладной характер и апробация всех разработанных теоретических моделей на практике. Результаты, полученные в ходе диссертационной работы, представляют практическую ценность и их можно рекомендовать к использованию в исследованиях механических систем с качением и робототехнике.

Замечания по диссертационной работе

1. На стр.45 сказано, что «в общем случае свободное движение рассматриваемой неголономной системы может включать как

элементы гамильтонова, так и диссипативного поведения». Данное утверждение нечетко и не аргументировано, и в дальнейшем не используется. Считаю его излишним.

2. Ниже на стр.45 сказано, что «в случае отсутствия силы тяжести вектор M сохраняется в абсолютном пространстве, и по-видимому является обобщением сохраняющегося вектора кинетического момента в более простых задачах». На мой взгляд, данное предложение не несет какого-либо содержательного смысла и является излишним.

3. В пар. 2.32. проводится исследование устойчивости в первом приближении и делается вывод об отсутствии экспоненциальной неустойчивости для конкретных значений параметров. Получаемое характеристическое уравнение весьма простое, и по-видимому этот вывод можно было бы обобщить (либо опровергнуть) и на другие значения параметров.

Сделанные замечания не снижают качества диссертационной работы и общую положительную оценку.

Заключение

Диссертационная работа Караваяева Юрия Леонидовича на тему «Теоретические и экспериментальные исследования динамики и управления некоторых систем с качением» представляет собой законченное научное исследование, посвященное решению актуальной задачи, характеризующееся научной новизной и практической полезностью. Диссертационная работа выполнена с использованием современных теоретических и экспериментальных методов исследования, написана квалифицированно и аккуратно оформлена.

Диссертационная работа Караваяева Юрия Леонидовича на тему «Теоретические и экспериментальные исследования динамики и управления некоторых систем с качением» соответствует требованиям ВАК РФ, а ее автор, Караваяев Юрий Леонидович, заслуживает присвоения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01- Теоретическая механика.

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой теоретической
механики МФТИ, доктор
физико-математических наук, профессор



А. П. Иванов

ЗАВЕРЯЮ
УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ

МФТИ
Ю. И. Скалько



Okar'koz